

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号:

UDC_____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

基于 LabVIEW 的微波非电量自动检测

The Design of Auto-measurement Microwave Non electric
quantity Based on Labview

指导教师姓名: X X X 教 授

专 业 名 称: 无 线 电 物 理

论文提交日期: 2 0 1 1 年 5 月

论文答辩时间: 2 0 1 1 年 5 月

学位授予日期: 2 0 1 1 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2011 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

低损耗材料在电子、通信、微波设备等各个领域有着广泛用途。对微波介质材料的相关参数进行准确测量有重要意义。此外微波元件接入微波系统时，由于元件输入端的反射及其本身的损耗，除了幅度发生变化外，相位也发生相应变化，全面测试其特征参数在目前的研究中将日趋重要。

为了实现介质参数和网络传输参量的自动测量，本文用手动的方法测试介质介电常数、食油含水量及网络的衰减和相移，掌握相关的测试方法，在实验室微波测量系统基础上，采用 LabVIEW 编写相关测试软件，对聚四氟乙烯和聚苯乙烯材料进行测试，并对测试结果进行分析。本论文主要包括以下内容：

第一部分介绍了检测介质参数及网络传输参量的发展现状，分析了常用的介质参数测试方法，对这些方法的优缺点进行总结，并选择了谐振腔微扰法及衰减和相移的双参数测量方法。

第二部分主要介绍了微扰理论、谐振腔理论，采用 TE_{109} 模矩形腔和 TE_{011} 模圆柱腔为传感器，提出了片状介质的介电常数、介质厚度、食油相对含水量的测试方法，并推导了计算以上参数的相关公式，对网络的衰减和相移及与之有关的各种参量和失配误差的进行了总结，采用反射法同时兼测网络的衰减和相移。

第三部分采用 LabVIEW 语言，开发了介质参数及网络传输参量的测量软件。对软件中的主要测量模块具体程序的实现做了详细的介绍，测试软件直观方便，界面友好，功能全面，实现了对测试过程的监视与控制，并自动测试以上参数及实时保存实验信息。

第四部分，阐述使用软件步骤，并进行片状介质的介电常数、介质厚度、食油含水量、网络的衰减和相移的测量，对测量结果进行了误差分析。

关键词： LabVIEW 平台；微扰；传输参量；介质参数

Abstract

Low-loss materials have a wide range of uses in electronics, communications and microwave equipments. Therefore, measuring the relative dielectric parameters has a great significance. Moreover, when microwave components get access to microwave systems, both the amplitude and phase are changed, which is a result of the reflection and its own losses of the components input. So a comprehensive test of its parameters study will become increasingly important nowadays.

In order to realize automatic measuring dielectric parameters and microwave network parameters, we measure parameters by manual operation as follows: dielectric constant, water content of edible oil, the attenuation and phase shift of network. Based on the understanding of the measuring method and the mastering of microwave measuring system of Laboratory, a correspondent testing software was developed based on LabVIEW. We measured PTEF and Polystyrene materials and the result was analyzed in this paper. This paper contains following contents.

In the first part, the paper introduces the development of measuring the dielectric and microwave network parameters and analyzes the measure methods including the advantages and disadvantages. We choose the cavity method and bi-parameters of attenuation and phase shift method.

In the second part, the paper mainly introduces the theory of perturbation and cavity. Taking the TE_{109} mode rectangular cavity and TE_{011} mode cylindrical cavity for sensor, We developed the measuring method for measuring dielectric constant, thickness of sheet and the water content of edible oil. And the formula about these parameters were derived. We also summarized the attenuation and specific phase shift of Two-Port Network, various parameters and mismatch error about it. Finally, we made a test of them by reflection method.

In the third part, measuring software was developed based on LabVIEW which is used to test dielectric parameters and network parameters. Detailed programs of its

main modules were presented, which has the characteristics of friendly interface, strong operation ability and perfect function. The testing software can control the testing process, real time test above parameters and automatically save experimental information.

At last, this paper explained how to use software to measure dielectric parameters and transmission parameters, also the result was analyzed with error and error sources was given.

KeyWords: LabVIEW Platform; Perturbation; Transmission parameters; Dielectric parameters.

目录

第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景	1
1.1.1 微波介质参数测量现状	1
1.1.2 微波传输参量测量现状	3
1.3 本论文研究内容	4
第二章 微波非电量测量的基本理论	6
2.1 谐振腔的微扰理论	6
2.1.1 微扰理论	6
2.1.2 TE_{109} 模矩形谐振腔理论	9
2.1.3 TE_{011} 模圆柱形谐振腔理论	10
2.2 介质微扰谐振腔的理论公式推导	13
2.2.1 矩形腔 TE_{109} 模测矩形介质介电常数微扰公式推导	13
2.2.2 矩形腔 TE_{109} 模测圆形介质介电常数微扰公式推导	13
2.2.3 圆柱腔 TE_{011} 模测介质介电常数微扰公式推导	15
2.2.4 矩形腔 TE_{109} 模测介质厚度微扰公式推导	16
2.3 谐振腔微扰法测食油含水量	16
2.3.1 油水混合物的介电常数	16
2.3.2 矩形腔 TE_{109} 模测食油含水量微扰公式推导	17
2.3.3 油水混合物介电常数与含水量关系公式推导	19
2.4 传输参数的测量	21
2.4.1 反射法测传输参量	26
2.5 本章小结	28
第三章 微波测试系统装置	29
3.1 系统总体硬件结构	29
3.2 主要电路设计	30
3.2.1 步进电机驱动电路 ^[31]	30

3.2.2 数据采集卡接口电路 ^[32]	32
3.3 本章小结	33
第四章 基于 LabVIEW 的测试系统软件设计	34
4.1 虚拟仪器技术与 LabVIEW 开发平台	34
4.1.1 虚拟仪器简介 ^{[33][34][35]}	34
4.1.2 LabVIEW 开发平台 ^{[36][37][38]}	35
4.2 软件总体结构	37
4.2.1 介质介电常数测量模块的设计 ^{[42][43][44][45]}	37
4.2.2 介质片厚度测量模块的设计	42
4.2.3 食油含水量测量模块的设计	43
4.2.4 传输参量测量模块设计 ^{[46][47]}	43
4.2.5 软件设计中的 CIN 节点	46
4.2.6 虚拟仪器前面板的设计原则	49
4.3 本章小结	50
第五章 测试结果及误差分析	51
5.1 软件主界面	51
5.2 介质参数测量	51
5.2.1 介质介电常数值测量	53
5.2.2 厚度的测量	57
5.2.3 食油含水量的测量	58
5.3 传输参量的测量	61
5.4 本章小结	64
第六章 总结与展望	66
6.1 总结	66
6.2 展望	67
参考文献	68
硕士研究生期间科研成果	71
致谢	72

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Background and Research Survey of Paper	1
1.1.1 Measuring Situation of Dielectric Parameters	1
1.1.2 Measuring Situation of Transmission Parameters of Network	3
1.3 Main Contents of this Thesis	4
Chapter 2 The Basic Theory of Measuring Non Electricity	
Parameters by Cavity	6
2.1 Perturbation Theory of Cavity	6
2.1.1 The Basic Theory of Perturbation	6
2.1.2 Theory of TE_{109} mode of rectangular Cavity	9
2.1.3 Theory of TE_{011} mode of cylindrical Cavity	10
2.2 Derivation of Perturbation formula for measuring dielectric parameters	
by Cavity	13
2.2.1 Derivation of Perturbation Formula for Calculating Dielectric Constant of	
Rectangular sheet by TE_{109} Mode Rectangular Cavity	13
2.2.2 Derivation of Perturbation Formula for Calculating Dielectric Constant of	
Cylindrical by TE_{109} Mode Rectangular Cavity	13
2.2.3 Derivation of Perturbation Formula for Calculating Dielectric Constant of	
Rectangular sheet by TE_{011} Mode Cylindrical Cavity	15
2.2.4 Derivation of Perturbation Formula for Calculating Dielectric Thickness by	
TE_{109} Mode Rectangular Cavity	16
2.3 Measuring Water Content of Edible Oil by Cavity	16
2.3.1 Dielectric Constant of Oil-Water Mixture	16
2.3.2 Derivation of Perturbation Formula for Calculating Relative Water Content	
of Edible Oil by TE_{109} Mode Rectangular Cavity	17
2.3.3 Derivation of Formula for Calculating Relative Water Content of Oil-Water	

19

2.4 Measuring Transsmission Parameters	21
2.4.1 Reflection Method For Measuring Transmission Parameters.....	26
2.5 Summary.....	28
Chapter 3 Device of Testing System	29
3.1 Total Hardware Configuration of System.....	29
3.2 Main Circuit Design.....	30
3.2.1 Stepping Motor Driving Circuit.....	30
3.2.2 The Interface Circuit of Data Acquisition Card	32
3.3 Summary.....	33
Chapter 4 The Soft Design of Testing System Based on LabVIEW... 34	
4.1 Brief Introduction of Virtual Instrument and LabVIEW.....	34
4.1.1 Brief Introduction of Virtual Instrument and LabVIEW	34
4.1.2 Development Platform of LabVIEW LabVIEW	35
4.2 General Structure of Software	37
4.2.1 The Design of Measuring Dielectric Constant Model	37
4.2.2 The Design of Measuring Dielectric Thickness Model	42
4.2.3 The Design of Measuring Water Content of Edible Oil Model	43
4.2.4 The Design of Measuring Transmission Parameters Model	43
4.2.5 4.2.5 CIN node of Software Design.....	46
4.2.6 The Design Principle of Virtual Instrument Front Panel	49
4.3 Summary.....	50
Chapter 5 Test Result and Error Analysis	51
5.1 Main Interface of Software	51
5.2 Measuring Dielectric Parameters.....	51
5.2.1 Measuring Dielectric Constant.....	53
5.2.2 Measuring Dielectric Thickness.....	57
5.2.3 Measuring Relative Water Content of Edible Oil	58
5.3 Measuring Transmission Parameters.....	61
5.4 Summary.....	64

Chapter 6 Conclusion and prospect.....	66
6.1 Conclusion	66
6.2 prospect.....	67
References.....	68
Publications.....	71
Acknowledgments.....	72

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 课题研究背景

目前,微波技术在国民经济许多部门获得了越来越广泛的应用,微波非电量检测技术是微波技术应用的一个重要方面,它以微波作为传递信息的媒介,根据待测物对微波有辐射、反射、投射、散射、干涉、衍射、谐振和多普勒效应等物理特性,利用微波传感器将待测物件的非电量转换成微波电参量的变化进行测量^[1]。低损耗的片状微波介质陶瓷在 GPS 天线、微波滤波器等通讯领域有广泛应用,在这些应用中都必须准确地知道介质材料的介质参数,因此对介质材料介质参数进行测量具有重要的意义。为了对上述领域中介质参数进行准确测量,先用手动方法对片状聚苯乙烯及聚四氟乙烯介质材料的介电常数进行测量,并根据手动测量原理,开发了一套基于 LabVIEW 的介质参数自动检测系统。本文主要对低损耗片状介质的介电常数、厚度、低含水量食油的含水量、被测网络的衰减和特征相移进行自动检测。

1.1.1 微波介质参数测量现状

随着微波介质材料研究的迅速发展,必然要求有精确的测量方法。近年来,人们已经在介质参数测量方面开展了大量的工作,由于被测材料的外形尺寸、介质参数、物理状态、使用频段不同等,使得介质参数所用的测试方法和测试系统不同,不同的测试方法有不同的优缺点^{[2][3][4]},为了对介质参数进行准确有效的测量,以下将对常用的两种测试方法—谐振法和传输法进行简要介绍。

(1) 谐振腔微扰法

微波谐振腔体是微波测量技术中的一种重要传感器。常用的微波谐振腔体品质因数 Q 值可达几千以上,当微波谐振腔体受到介质的微扰时,其固有谐振频率及品质因数 Q 值将产生变化。根据谐振频率偏移值、失谐所产生的相移,品质因数 Q 值变化,可推导出所需的介质参数。因微波腔体所构成的传感器具有高精度、抗干扰性能好的特点,在低损耗材料的损耗测试方面,测试灵敏度

高，测试准确，占有重要位置。

通常谐振腔微扰法采用介电常数较小的被测介质材料置入谐振腔内，对腔内场进行微小的扰动，通过对谐振腔微扰前后进行测量，可得介质材料的复介电常数。微扰法因样品易于取材，所以在工业上使用较多。但微扰物较大时，将出现较大的测试误差^{[5][6]}，因此适合微扰物较小时采用。本文微扰法主要采用高 Q 圆柱谐振腔 TE_{011} 模微扰法和矩形腔 TE_{10p} 微扰法。

(a) 高 Q 腔法

采用圆柱形谐振腔的 TE_{0mp} 模，将被测样品加工成圆片状放入腔内，在测得谐振腔加载前后的谐振频率和固有品质因数后，可计算出介质材料的微波复介电常数。该方法由于利用了圆柱腔的高 Q 值，测试准确度较高，往往在国家计量部门作为计量标准，但因样品要求较高，所以在工业上用得较少^[7]。

(b) 矩形腔法

与高 Q 腔法类似，矩形腔法是矩形腔由块状被测样品填充，矩形腔的横向尺寸与介质大小一致，而纵向为部分填充，工作模式通常取 TE_{10p} 模^[7]。

以上是几种常见的谐振测试法，此外还有带状线谐振器法、矩形介质材料表面金属化谐振法、超导腔法、介质谐振器法等。

(2) 传输法^{[8][9]}

传输线法是将被测材料置入测试系统中的适当位置作为双口网络，测量此双口网络的散射参数(S 参数)，从而推算出材料的微波参数^{[8][9]}。传输法的优点是易于实现宽带测量，缺点是测量误差较大，尤其是对低耗材料的损耗测试误差较大。

(a) 传输线终端短路法

传输线终端短路法将被测样品填充满波导或同轴线终端，然后在终端用金属片短路。由于入射波经被测介质反射后，对低损耗材料的损耗反应灵敏度低，所以损耗的误差较大。

(b) 传输线终端介质加载法

传输线终端介质加载法是将被测材料置入同轴或波导敞开口处进行加载，由传输线入射的波经过被测介质反射后对复反射系数进行无损检测。与

同轴传输线短路法一样，该方法对低损耗材料的损耗测量误差较大。

(c) 波导法

波导法是通过测量被测样品构成的二端口网络的传输和反射参数，然后计算出被测样品的介质参数^[10]。由于圆波导的对称性较好，因此常采用圆波导进行测量。在测量时可以旋转样品，通过对几次测量结果取平均来减小因样品尺寸小、均匀性不好而造成的误差。但波导法要求待测的材料样品与波导的横向尺寸紧密配合，这给实际加工和测量带来了困难，也容易给测量带来较大的误差。

(d) 自由空间波法

自由空间波法是利用天线将电磁波辐射到自由空间，当遇到测试样品时，发生反射和透射现象，利用天线接收反射和透射信号，计算介质材料的介电常数^{[11]-[14]}。自由空间测试法可以实用于 8~100GHz 的频段。对频率的限制主要是要求材料的单程损耗至少为 10dB 的衰减条件，在测量低损耗微波介质材料的损耗时，误差较大。

综上所述，谐振法的特点是针对常用低耗介质材料有较高的测试灵敏度和测试准确度，缺点是测试往往在一个谐振频率上进行，测试频率范围窄。传输法的特点是测试频带宽，缺点是对于常用低耗介质材料测试误差较大；本文采用微扰法对介质的介电常数、介质厚度、食油含水量进行检测。由于本文研究的对象主要是低损耗的片状介质以及低含水量的食油，所以采用谐振腔微扰法。

1.1.2 微波传输参量测量现状

微波元件接入微波系统中，由于元件输入端的反射和元件本身的损耗，传输至负载的功率减少，产生衰减。这种衰减与元件的传输参量有密切的关系，通过测量元件的插入衰减，可以推算出某些传输参量。在这过程中除了幅度可能发生变化外，相位也可能发生变化，因在微波技术中，波源一般是相干源。由于两个相干波在叠加时，其合成波不仅决定于两个波的振幅，而且还决定于两个波的相位差，所以在微波测量中经常遇到相位测量^[16]。

由于历史发展的原因，衰减测量的重要性较早的为人们认识和解决，相位测量的重要性被人们认识和解决较迟，由于一般测相方法在测量几乎无耗的相

移时的测量较容易且准确，如采用平衡桥式电路中，只要调节相位平衡就可以容易且准确地调到示数为零，常常又只注意单纯相移元件的测量，对于带有可观衰减的相移元件，在测相过程中由于伴随着信号幅度的变化，有时会产生额外的误差（幅相误差）。因此，对于衰减器的残余相移的测量或者是对于移相器的残余衰减的测量，都是比较困难的任务。除以上这些情况外，实际测量中遇到的元器件大都具有不可忽略的衰减和相移。为了全面测试微波元件特征参数，需要寻求能够兼测幅相的方法，并对出现的幅-相（或相幅）误差进行分析和估计，设法减小或消除这方面的误差，全面测量该参数在目前的研究中将日趋重要。

1.3 本论文研究内容

本文通过对谐振腔法测介质参数及反射法测网络传输参数进行研究分析，设计了一套低损耗介质介电常数、厚度、低含水量食油的含水量、网络的衰减及特征相移自动检测系统。测试系统主要由 TE_{109} 模矩形谐振腔、 TE_{011} 模圆柱谐振腔、以及相关测试装置、测试软件、标量网络分析仪等组成。以下为本文的主要章节：

第一章简要讲述了课题研究背景，介质参数测量的主要方法及网络传输参量测量的现状。

第二章介绍了谐振腔微扰理论、矩形及圆柱谐振腔理论、网络传输参数理论，通过对介质微扰的谐振腔测量法进行分析，完成了片状介质介电常数、介质厚度、食油含水量的相关计算公式的推导，并采用反射法测量网络传输参量。

第三章介绍了基于 LabVIEW 的微波非电量检测系统的组成：微波系统、微机系统、ASNA2006 标量网络分析仪。

第四章介绍了虚拟仪器图形化开发软件 LABVIEW 的特点。讲述了软件的总体设计，实现了对软件中的四个主要测量模块的具体程序的编写。讨论了软件设计中使用的关键技术。

第五章组建了介质参数及网络传输参量测试系统，介绍了介质参数及网络传输参量测量的操作步骤，并对测量结果及误差进行分析。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库